

Universidad de Alicante

INGENIERÍA ROBÓTICA. ROBOTS MÓVILES

# DRONES Y ROBOTS AEREOS

*Trabajo en grupo*

Autores:

Pedro Baeza Ortega

Leopoldo Cadavid Piñero

Carlos Ramos Illán

Diciembre 2022

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Tipos de drones y aplicaciones</b>	<b>4</b>
2.1. Tipos de drones . . . . .	4
2.2. Aplicaciones . . . . .	7
<b>3. Hardware</b>	<b>9</b>
3.1. Componentes generales . . . . .	9
3.2. Actuadores . . . . .	10
3.3. Sensorización . . . . .	10
<b>4. Movimiento de un dron cuadricóptero</b>	<b>12</b>
<b>5. Algoritmo de actuación de motores</b>	<b>14</b>
<b>6. Algoritmos de control y movimiento para un cuadricóptero</b>	<b>15</b>
<b>7. Simulación práctica en ros</b>	<b>20</b>
<b>8. Conclusión</b>	<b>25</b>

## Apartado 1

# Introducción

El concepto de robot aéreo normalmente hace referencia a dos tipos de robots. El primero de ellos son las sondas espaciales no tripuladas, más conocidos como rovers, utilizados desde la década de los años 60 para la exploración de la luna y el sistema solar. El segundo tipo de robot al que se puede referir son los vehículos aéreos no tripulados(UAVs) o drones. Este trabajo se centrará fundamentalmente en este último.

Un dron se define como un vehículo aéreo no tripulado, operado remotamente o cuyo movimiento puede estar automatizado, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido. En la actualidad, los drones tienen una gran cantidad de aplicaciones, tanto en el ámbito militar como en el civil. Además en los últimos años su investigación ha permitido un gran desarrollo de estos, haciendo que cada vez estén más presentes en nuestra sociedad.

Respecto a sus orígenes, comúnmente se puede pensar que son una tecnología de reciente creación, pues es un elemento que no estaba presente en nuestra sociedad hasta hace pocos años. Sin embargo, existen varios momentos en los últimos dos siglos que podrían considerarse como el inicio de esta tecnología.

En 1849 el Imperio Austro-húngaro pondría en marcha más de 200 globos aerostáticos no tripulados, cargados de bombas, hacia la ciudad de Venecia. Estos globos podrían considerarse como vehículos aéreos no tripulados, sin embargo, no estaban teleoperados, por tanto solo se pueden considerar como los primeros vestigios de los drones. Más adelante, en 1907 los inventores Jacques y Louis Bréguet crearon el primer cuadricóptero de la historia. Muchos consideran a este, como el primer dron de la historia. Sin embargo se requerían de cuatro personas para que estuviera estabilizado y su primer

vuelo sólo consiguió levantarse unos 60 cm del suelo.[7]

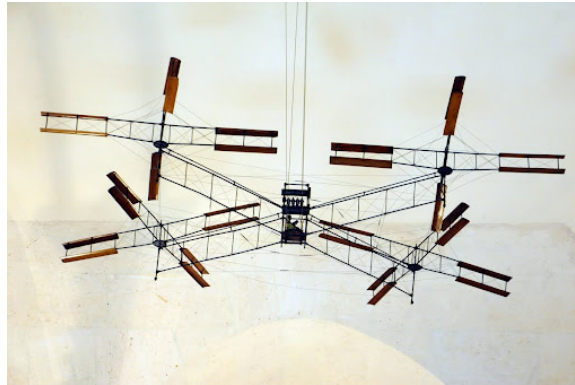


Figura 1.1: Cuadricóptero de Jacques y Louis Bréguet.

Por último, durante la Primera Guerra Mundial, se creó el prototipo del primer avión sin piloto de la historia, denominado Ruston Proctor Aerial Target, diseñado por Archibald Low. Este prototipo se pretendía que sirviera como una bomba voladora en un campo de combate, basándose para ello en la tecnología de Tesla de control remoto. Por tanto se puede considerar como el primer UAV teleoperado.

No fue hasta los inicios del siglo XXI cuando empezaron a aparecer los primeros drones no militares en la sociedad. Desde entonces, los drones han empezado a integrarse cada vez más, de forma progresiva, en nuestra vida cotidiana, desarrollándose aplicaciones de esta tecnología en muchos ámbitos, como por ejemplo en la mensajería o en la fotografía. Es por ello, que esta tecnología dispone de un gran potencial en los próximos años y cada vez estará más presente en nuestra sociedad. En este trabajo se abordarán diferentes aspectos de esta tecnología. En primer lugar se clasificarán por el tipo de dron y se comentarán sus principales aplicaciones. Tras esto se explicará el hardware utilizado en los drones actuales y los principales algoritmos de control y movimiento de estos. Por último, se abordará el desarrollo práctico de una simulación en gazebo en ROS. [8]

## Apartado 2

# Tipos de drones y aplicaciones

En este apartado se describirán los diferentes tipos de drones existentes[6] y se comentarán de las diferentes aplicaciones en las que se utilizan.

### 2.1. Tipos de drones

Para clasificar los drones existen de 2 tipos de criterios diferentes, según su estructura o según el número de hélices que dispongan.

Según su estructura podemos diferenciar entre:

- **De ala fija:** Aprovechan la aerodinámica para su elevación, además de una composición similar a la de los aviones.



Figura 2.1: Dron de ala fija

- **De ala rotatoria:** Más comunes en el mercado actual gracias a su versatilidad, logran su sustentación por medio de las hélices impulsadas por motores que se ubican en cada uno de

sus brazos. Son muy estables y empleados para todo tipo de actividades.



Figura 2.2: Dron de ala rotatoria

Según el número de hélices distinguimos entre:

- **Tricópteros:** Dispone de 3 brazos, uno de ellos cuenta con un motor que gira en sentido contrario para generar la potencia y otro más funciona como servomotor para ofrecer estabilidad en el vuelo.



Figura 2.3: Tricóptero

- **Cuadricópteros:** El dron más común del mercado, cuenta con 4 brazos y en cada uno de ellos se posiciona un motor, ofrece una gran estabilidad.
- **Hexacópteros:** Cuentan con 6 brazos y 6 motores, son los más usados en el campo profesional para lograr tomas aéreas de gran calidad gracias a su gran estabilidad, añadiendo una mayor seguridad en caso de problema en alguno de los motores.

- **Octocópteros:** Cuenta con 8 brazos y 8 motores, con mejor capacidad de estabilización que los hexacópteros, sin embargo son más grandes, más pesados y más difíciles de controlar en espacios pequeños.



Figura 2.4: Octacóptero

- **Coaxiales:** Cuentan en cada brazo con 2 motores, esto añade potencia y son útiles para transportar objetos o elevarse a gran altura con mayor facilidad.



Figura 2.5: Dron coaxial

Además existe otra clasificación según la normativa de drones, que se dividen en 7 clases determinadas en un acuerdo vigente y dictaminada por la EASA (Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea). Sus diferencias van en función de las restricciones operacionales que tienen y los sistemas que las integran

### 2.2. Aplicaciones

Existen múltiples aplicaciones reales de uso de drones, a continuación se exponen algunas de las más comunes.

El uso más común del dron es el uso particular, normalmente fines de entretenimiento, como puede ser grabarse en un viaje o las carreras de drones. También el uso particular se puede aplicar a los fines comerciales para anuncios, grabaciones de películas, eventos, etcétera.

También podemos destacar aplicaciones en el ámbito geográfico, ya que son útiles para hacer tomas de terrenos y espacios con características diversas, ya que se han desarrollado herramientas en el ámbito de la topografía para hacer mediciones desde las alturas sobre la planimetría y altimetría.

Otro uso a destacar podría ser la seguridad, que ya usan en la Policía Nacional Española para identificar situaciones peligrosas en aglomeraciones además de vigilancia perimetral o protección en grandes espacios e incluso protección de fronteras.

Además de todos los anteriores, el uso de drones en el campo de la agronomía, se utiliza frecuentemente para el cuidado de cultivos y la fumigación de estos mismos.



Figura 2.6: Drones en la agricultura

Por último mencionar el uso de drones en mensajería, ya que aunque no sea algo bastante común a día de hoy es algo en lo que se está trabajando, aunque aquí el limitante no es la tecnología sino las regulaciones aéreas.





Figura 2.7: Drones en mensajería

## Apartado 3

# Hardware

En este apartado se enumerarán y explicarán los distintos componente hardware[4][5] de un dron, incluyendo los sensores[3] y actuadores utilizados. En esta enumeración se incluirán los componentes típicos y más utilizados habitualmente en la mayoría de drones, si embargo pueden existir otros componentes o sensores menos utilizados que no se mencionen.

### 3.1. Componentes generales

- **Marco** : Es el esqueleto del dron, donde van implantados el resto de los componentes de este. Están construidas con aleaciones ligeras de aluminio, magnesio y titanio, para ser ligeros de peso.
- **Hélices**: Elevan al dron en el aire, giradas por la potencia que transmiten los motores. Normalmente de 2 aspas, aunque también las hay de tres aspas que mejoran muchísimo la estabilidad del dron pero consumen mayor energía. Suelen estar compuestas por fibra de carbono, plástico o nylon.
- **Controladora del dron**: Es el cerebro del dron, el ordenador integrado que realiza todo los movimientos del dron, recoge datos de todo su sistema, la ubicación de GPS, además controla las velocidades de los motores, la de los giroscopios, y acelerómetros., a ella se le conectan los sensores.[1]
- **Batería**: La fuente de alimentación del dron, existen de varios tipos pero las más usadas son las de polímero de litio.

- **Receptora de radio:** Encargada de recibir la señal que se envía desde el control remoto y transformar las instrucciones en una orden para el dron.
- **Tren de aterrizaje:** Pieza sobre la que el dron se apoya al tomar tierra para evitar sufrir daños al llegar al suelo.
- **Reguladores de velocidad:** En inglés Electronic Speed Control, son los encargados de que los motores giren a la velocidad necesaria mediante un circuito eléctrico. Este circuito se encarga de variar la velocidad del motor, así mismo, variará su dirección y también podría actuar como un freno dinámico

### 3.2. Actuadores

Los motores empleados en drones se agrupan principalmente en dos tipos:

- **Motores Brushless o sin escobillas** Se utilizan en drones de gran tamaño. Son más potentes y más pesados que los motores con escobillas, además de ser más duraderos. Entre sus ventajas encontramos:
  - Permite tener un numero elevado de revoluciones por minuto sin mucho calentamiento.
  - Responden bien a los cambios bruscos de velocidad.
  - Son poco ruidosos y tienen un ratio potencia/peso muy bueno.
- **Motores CC con escobillas** Se utilizan en microdrones, nanodrones y en drones de juguete. Entre las ventajas que presenta este tipo de motor encontramos:
  - Son muy ligeros y tienen una buena disipación de calor, lo que le permite alcanzar unas revoluciones por minuto elevadas.
  - Los controladores para este tipo de motores son baratos.
  - Nula inercia rotacional, lo que les permite tener un control de velocidad bueno.

### 3.3. Sensorización

- **Acelerómetro:** Mide la aceleración estática, y dinámica; la primera en el eje vertical, como la gravedad; y la segunda, en el eje horizontal, en el plano XY.

- **Giroscopio:** Mide y mantiene la orientación del dron. Al integrar tres acelerómetros, cada uno de los cuales está orientado a lo largo de un eje diferente, se puede determinar el grado de movimiento de un dron a lo largo de cualquier eje
- **Brújula:** Sensor de rumbo, para conocer la orientación del dron con respecto al norte magnético.
- **Sensores de posición:** Como por ejemplo GPS, que nos permite añadir los datos de ubicación en la telemetría, además los datos de velocidad y los datos sobre la altitud. Además, en casos de vuelo programado sirve para mantener guardada la posición estática o despegue para que tu dron vuelva a su punto de partida.
- **Sensores de velocidad:** Mide la presión que ejerce el aire contra la parte del dron al desplazarse.
- **Sensores Lidar:** Se usan para medir la distancia del dron hasta su área objetivo calculando el tiempo de liberación de un pulso láser, que se refleja y vuelve de vuelta. Se puede utilizar para crear reproducciones 3D del entorno para cartografiar el terreno. Tienen un precio bastante elevado.
- **Sensores Multiespectrales:** Estos sensores detectan y recopilan el espectro RGB y las longitudes de onda visibles para el ser humano. Combinándose con los sensores térmicos se utilizan para analizar la salud de los cultivos, la eficiencia de los paneles solares, puntos problemáticos en gaseoductos, etc...
- **Sensores de altitud y altura:** Capaces de medir la altitud y la altura a través de un radioaltímetro o de forma barométrica midiendo las presiones.
- **Sensores de variación de altura:** Obtiene las medidas de descenso del dron al cambiar su altura de vuelo, mediante variaciones de presión.

## Apartado 4

# Movimiento de un dron cuadricóptero

Lo primero que se debe tener en cuenta a la hora de hablar del movimiento de un dron, es que este vehículo entra dentro de la categoría de los vehículos **subactuados**, es decir, se cuenta con menos actuadores que grados de libertad disponibles.

Esto significa que debemos maniobrar y combinar los movimientos de los diferentes actuadores para realizar el movimiento. Especificando más, disponemos de **4 actuadores y 6 grados de libertad**. Los movimientos posibles para un dron son los siguientes:

- Thrust: dirección de traslación (arriba-abajo).
- Izquierda-Derecha (dirección de traslación)
- Adelante-Atrás (dirección de traslación)
- Roll: dirección de rotación.
- Pitch: dirección de rotación.
- Yaw: dirección de rotación.

Como se ha comentado previamente, el dron es un vehículo subactuado, esto provoca que algunas de las direcciones que se quieran tomar dependen también de realizar otras. Por ejemplo, un dron no es capaz de moverse traslacionalmente hacia la izquierda sin rotar primero en esa dirección.

#### APARTADO 4. MOVIMIENTO DE UN DRON CUADRICÓPTERO

---

Además, se debe realizar un estudio físico de cómo conseguir las rotaciones del dron contando únicamente con 4 motores.

Para un cuadricóptero se utiliza la configuración opuesta de los motores que se giran en la misma dirección. Como se puede ver en 4.1:

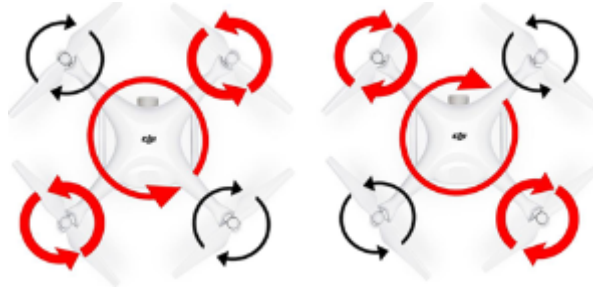


Figura 4.1: Física del giro.

Además, para conseguir que se eleve o descienda daremos mayor o menor fuerza a los 4 motores de forma simultánea.

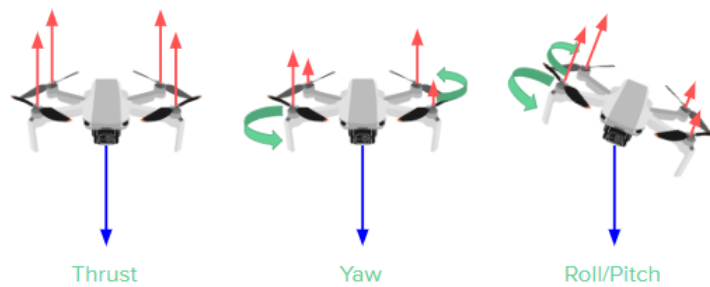


Figura 4.2: Descripción de esquemática de varios de los movimientos.

## Apartado 5

# Algoritmo de actuación de motores

Una vez vista la física del movimiento del dron, se puede diseñar un algoritmo simple para controlar el dron. El algoritmo tiene como entrada el movimiento que deseamos y la salida serán los motores que debemos activar conjuntamente. En 5.1 se puede ver de forma esquemática el funcionamiento del algoritmo. (+ o - indica que motores deben actuar conjuntamente para ir en una dirección del movimiento u otra).

Motor delantero derecho	= thrust	+ roll	+ pitch	+ yaw
Motor delantero izquierdo	= thrust	- roll	+ pitch	- yaw
Motor trasero derecho	= thrust	- roll	- pitch	+ yaw
Motor trasero izquierdo	= thrust	+ roll	- pitch	- yaw

Cuadro 5.1: Resumen del algoritmo más básico para el control de motores.

Este algoritmo es conocido comúnmente como *Mixed-Motor Algorithm* o **MMA** por sus siglas.

## Apartado 6

# Algoritmos de control y movimiento para un cuadricóptero

Ahora que se han planteado las ecuaciones que nos ayudan a trabajar de forma combinada con los motores, hay que ver cómo lleva esto a crear un controlador para el dron.

Una buena estrategia a tener en cuenta a la hora de planificar el control del dron debe ser imaginar cómo se realizaría manualmente con un mando (como se puede ver en 6.1). Por ejemplo, si quisiéramos que nuestro dron se elevase más, lo que se haría sería ejecutar una orden de Thrust, mediante nuestro mando, aumentar la velocidad de los cuatro motores. Si se quisiera avanzar hacia adelante, se daría más velocidad a los motores traseros para generar un movimiento de Pitch.



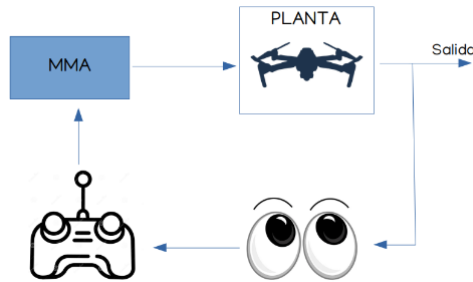


Figura 6.1: Esquema de control con el operador dentro del lazo.

Ahora bien, siguiendo este esquema manual, nosotros como manipuladores vendríamos a ser parte del ciclo de control del dron, observando nuestra planta (el dron) y dando feedback para corregir la posición según una consigna que queremos. El algoritmo de control de los motores ayuda a pasar de la lógica de movimiento a trabajar directamente con los actuadores de los que disponemos. Por ello, a la hora de montar el esquema de control automático mantendremos este algoritmo como paso previo a alimentar la planta.

Entonces, ¿cómo se pasa a realizar el mismo funcionamiento de forma automatizada?. Se debe ver primero el ejemplo particular del control de la orden Thrust. Este movimiento esta siempre supeditado al eje Z de nuestro dron, por lo cual el hecho de aumentar Thrust **debería** aumentar la altitud y disminuirlo lo contrario.

El problema es que si este movimiento se combina con los de Pitch o Roll, que provocan cierto ángulo, esto causa que Thrust no solo aumente la altitud si no que provoca también un aumento de la velocidad horizontal del dron (6.2). A efectos del objetivo buscado en este control de dron simple, se asume que trabajamos con ángulos Pitch y Roll pequeños que no influyan en Thrust.

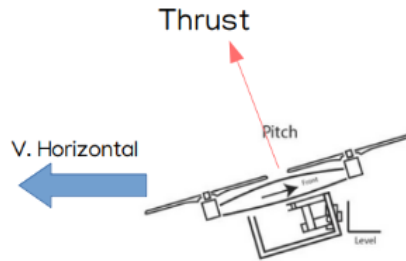


Figura 6.2: Velocidad aparecida al combinar Thrust con Pitch/Roll.

Sabiendo esto, si se quiere realizar un control de la altitud para el dron, disponiendo de sensores que ayudan a este cometido, es posible plantear un lazo cerrado donde la consigna será un nivel de altitud a mantener, y un feedback mediante los sensores. Tras esto se añadiría un controlador de altitud que a efectos prácticos puede ser un PID por ejemplo y que se encargará de tratar el error entre la referencia y la salida del sistema y de ver cómo lanzar la señal de Thrust. De esta forma, si el error empieza a aumentar, significa que el dron se encuentra volando muy bajo y que debe aumentar la altitud de este lanzando la orden Thrust al algoritmo de control de los motores, lo mismo pero a la inversa si el error se hace muy grande en sentido negativo.

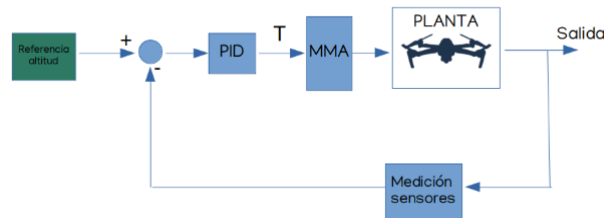


Figura 6.3: Bucle de control para Thrust.

Una vez visto este ejemplo, hay que tener en cuenta que en un entorno real puede aparecer, por ejemplo, viento que nos mueva el dron provocando Pitch o Roll, con la consecuente combinación de estos con Thrust. Para hacer un control más completo, se debe replicar el mismo proceso que seguido con Thrust, pero para el resto de movimientos que ejecutables. Como se pueden ejecutar los cuatro movimientos de forma independiente, se añadirán al sistema de control tres nuevos controladores

## APARTADO 6. ALGORITMOS DE CONTROL Y MOVIMIENTO PARA UN CUADRICÓPTERO

que realicen el proceso de cada movimiento y conecten con el bloque del algoritmo para los motores.[2]

Esto conlleva obviamente utilizar más sensores y realizar más estimaciones para poder crear una función de control que se vaya realimentando. El resultado de este planteamiento sería tener finalmente un controlador de altitud que sería el que se relaciona con Thrust, y otros tres controladores que se encargan de mantener el ángulo de giro en  $0^\circ$ . El resultado del bucle de control sería el siguiente:

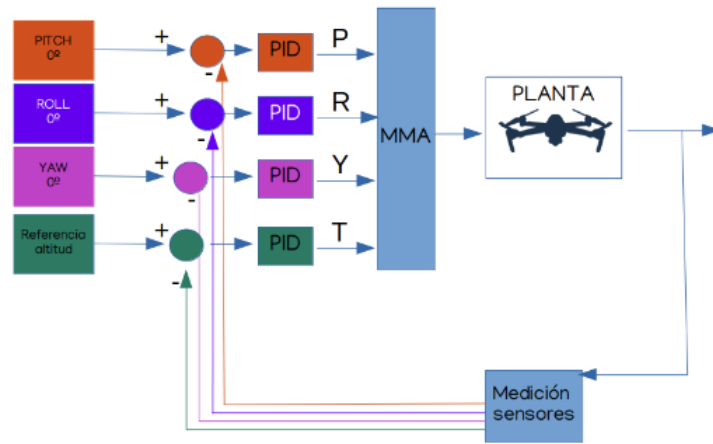


Figura 6.4: Control automático básico de un dron.

Ahora bien, este algoritmo de control sigue sin completo de cara al movimiento real de un dron, ya que si queremos que este se desplace entre posiciones debemos añadir referencias de posición, utilizando la odometría para crear referencias en posiciones concretas.

Tras estas medidas de odometría se debe realizar la transformación correspondiente al cuerpo del dron para finalmente aplicar las correcciones necesarias en el algoritmo MMA.

## APARTADO 6. ALGORITMOS DE CONTROL Y MOVIMIENTO PARA UN CUADRICÓPTERO

---

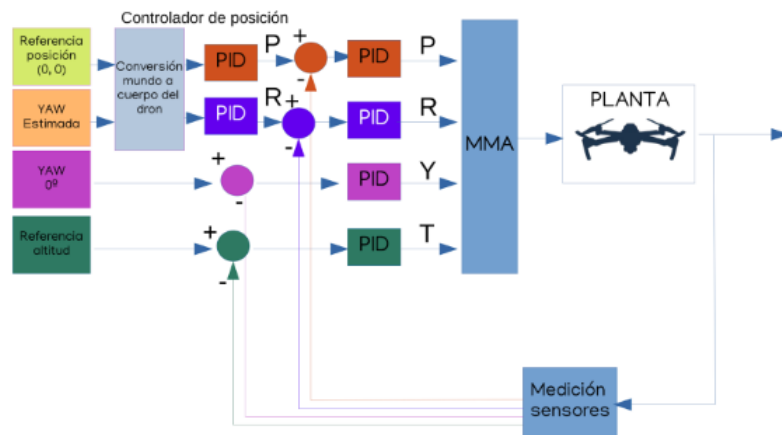


Figura 6.5: Control automático básico de un dron, añadiendo referencias espaciales para la navegación.

## Apartado 7

# Simulación práctica en ros

En esta sección se procederá a explicar la implementación práctica del control explicado para un cuadricóptero.

Para la simulación del flote de un dron se ha escogido utilizar la herramienta Gazebo, basándonos en los modelos implementados en el Github de Nishan A. Rao. [8]

Lo primero que se ha hecho ha sido crear un entorno y paquete nuevos, desde donde se ejecutará la simulación de Gazebo.

Junto con la simulación y el modelo del dron, se debe ejecutar un código que hará funcionar el algoritmo de control. El funcionamiento teórico de este algoritmo y de los outputs dados se encuentra explicado en profundidad en el apartado 6. Es importante recalcar que en la simulación **no ha sido posible implementar el control de altura**, ya que no ha sido posible añadir un sensor en Gazebo donde se mida la altura del dron.

Dentro de los códigos recogidos se encuentra el siguiente, donde se implementa el control PID de cada movimiento posible (roll, pitch, yaw) que busca conseguir el flote del dron:

```
1 def PID(roll, pitch, yaw, f):
2     #Define the global variables to prevent them from dying and resetting to
      zero, each time a function call occurs. Some of these variables
      may be redundant.
3     global kp_roll, ki_roll, kd_roll, kp_pitch, ki_pitch, kd_pitch, kp_yaw,
      ki_yaw, kd_yaw, prevErr_roll, prevErr_pitch, prevErr_yaw, pMem_roll,
      pMem_yaw, pMem_pitch, iMem_roll, iMem_pitch, iMem_yaw, dMem_roll,
      dMem_pitch, dMem_yaw, flag, setpoint, sampleTime
```

```

4      #-----
5      #Assign your PID values here. From symmetry, control for roll and pitch
        is the same.
6      kp_roll = 80
7      ki_roll = 0.0003
8      kd_roll = 89
9      kp_pitch = kp_roll
10     ki_pitch = ki_roll
11     kd_pitch = kd_roll
12     kp_yaw = 0.1
13     ki_yaw = 0
14     kd_yaw = 0
15     flag = 0
16     #Define other variables here, and calculate the errors.
17     sampleTime = 0
18     setpoint = 0
19     err_pitch = float(pitch)*(180 / 3.141592653) - setpoint
20     err_roll = float(roll)*(180 / 3.141592653) - setpoint
21     err_yaw = float(yaw)*(180/3.14159263) - setpoint
22     currTime = time.time()
23     #-----
24     #Reset the following variables during the first run only.
25     if flag == 0:
26         prevTime = 0
27         prevErr_roll = 0
28         prevErr_pitch = 0
29         prevErr_yaw = 0
30         pMem_roll = 0
31         pMem_pitch = 0
32         pMem_yaw = 0
33         iMem_roll = 0
34         iMem_pitch = 0
35         iMem_yaw = 0
36         dMem_roll = 0
37         dMem_pitch = 0
38         dMem_yaw = 0
39         flag += 1
40     #-----
41     #Define dt, dy(t) here for kd calculations.
42     dTime = currTime - prevTime

```

```

43     dErr_pitch = err_pitch - prevErr_pitch
44     dErr_roll = err_roll - prevErr_roll
45     dErr_yaw = err_yaw - prevErr_yaw
46
47     #-----
48     #This is the Heart of the PID algorithm. PID behaves more accurately, if
49     it is sampled at regular intervals. You can change the sampleTime to
50     whatever value is suitable for your plant.
51     if(dTime >= sampleTime):
52         #Kp*e(t)
53         pMem_roll = kp_roll * err_roll
54         pMem_pitch = kp_pitch * err_pitch
55         pMem_yaw = kp_yaw * err_yaw
56
57         #integral(e(t))
58         iMem_roll += err_pitch * dTime
59         iMem_pitch += err_roll * dTime
60         iMem_yaw += err_yaw * dTime
61
62         if(iMem_roll > 400): iMem_roll = 400
63         if(iMem_roll < -400): iMem_roll = -400
64         if(iMem_pitch > 400): iMem_pitch = 400
65         if(iMem_pitch < -400): iMem_pitch = -400
66         if(iMem_yaw > 400): iMem_yaw = 400
67         if(iMem_yaw < -400): iMem_yaw = -400
68
69         #derivative(e(t))
70         dMem_roll = dErr_roll / dTime
71         dMem_pitch = dErr_pitch / dTime
72         dMem_yaw = dErr_yaw / dTime
73
74         #Store the current variables into previous variables for the next
75         iteration.
76         prevTime = currTime
77         prevErr_roll = err_roll
78         prevErr_pitch = err_pitch
79         prevErr_yaw = err_yaw
80
81         #output = Kp*e(t) + Ki*integral(e(t)) + Kd*derivative(e(t))
82         output_roll = pMem_roll + ki_roll * iMem_roll + kd_roll * dMem_roll

```

```

80     output_pitch = pMem_pitch + ki_pitch * iMem_pitch + kd_pitch * dMem_pitch
81     output_yaw = pMem_yaw + ki_yaw * iMem_yaw + kd_yaw * dMem_yaw
82
83     #-----
84
85     #br in my code is fr in gazebo's world
86     esc_br = 1500 + output_roll + output_pitch - output_yaw
87     #bl in my code is br in gazebo's world
88     esc_bl = 1500 + output_roll - output_pitch + output_yaw
89     #fl in my code is bl in gazebo's world
90     esc_fl = 1500 - output_roll - output_pitch - output_yaw
91     #fr in my code is fl in gazebo's world
92     esc_fr = 1500 - output_roll + output_pitch + output_yaw
93
94     #Limit the ESC pulses to upper limit and lower limit, in case the PID
       algorithm goes crazy and high af.
95     if(esc_br > 2000): esc_br = 2000
96     if(esc_bl > 2000): esc_bl = 2000
97     if(esc_fr > 2000): esc_fr = 2000
98     if(esc_fl > 2000): esc_fl = 2000
99
100    if(esc_br < 1100): esc_br = 1100
101    if(esc_bl < 1100): esc_bl = 1100
102    if(esc_fr < 1100): esc_fr = 1100
103    if(esc_fl < 1100): esc_fl = 1100
104
105    #Map the esc values to motor values
106    br_motor_vel = ((esc_br - 1500)/25) + 50
107    bl_motor_vel = ((esc_bl - 1500)/25) + 50
108    fr_motor_vel = ((esc_fr - 1500)/25) + 50
109    fl_motor_vel = ((esc_fl - 1500)/25) + 50
110
111    #-----
112    #Provide the motor velocities to the object 'f' that will now exit out of
       this function, and gets published to gazebo, providing velocities to
       each motor. Note that the sign here is +,-,+,- i.e CW, CCW, CW, CCW
       in gazebo model. Change view of gazebo model (by scrolling) such that
       the green line comes to your left, red line goes forward, and blue
       line goes upward. This is the convention that i refer to as "Gazebo
       model" incase you get confused.

```



```
113     f.data = [fr_motor_vel, -fl_motor_vel, bl_motor_vel, -br_motor_vel]
114
115     #Return these variables back to the control file.
116     return f, err_roll, err_pitch, err_yaw
```

Tras realizar diferentes pruebas con las distintas ganancias del controlador PID, se han estimado que los siguientes valores consiguen los mejores resultados en simulación serán los siguientes (recordemos que por cuestiones de simetría pitch y roll comparten los valores de las ganancias):

- $kp\_roll = 80$
- $ki\_roll = 0.0003$
- $kd\_roll = 89$
- $kp\_pitch = kp\_roll$
- $ki\_pitch = ki\_roll$
- $kd\_pitch = kd\_roll$
- $kp\_yaw = 0.1$
- $ki\_yaw = 0$
- $kd\_yaw = 0$

En el siguiente enlace se puede observar el resultado de la simulación:

<https://youtu.be/GCfbrBgint0>

## Apartado 8

# Conclusión

En conclusión, los drones, como ya se ha comentado, no son una tecnología novedosa sino que en los últimos dos siglos ya aparecían artilugios similares que comenzaban a asemejarse a estos. Sin embargo, ha sido ya entrados en el siglo XXI, cuando han empezado a desarrollarse muchos tipos diferentes, además de múltiples aplicaciones y unos componentes bien definidos. Además en la actualidad contamos con diferentes métodos de control diferentes para actuar sobre los motores siendo uno de estos, el explicado en este trabajo.

Por último es necesario destacar la importancia de esta tecnología ya que su desarrollo, así como sus aplicaciones tienen un futuro prometedor en muchos ámbitos de nuestra vida cotidiana y en diferentes aspectos en nuestra sociedad.

# Bibliografía

- [1] Pier-Jean Bristeau. “The Navigation and Control technology inside the AR.Drone micro UAV”. En: *Science Direct* 44 (ene. de 2011), págs. 1477-1484.
- [2] Brian Douglas. *Drone Simulation and Control*. 2018. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GK1t8YIvGM8>.
- [3] DronesCamarasAcción. *Entender los sensores para drones.* ? URL: <https://drones-camaras-accion.com/blog/entender-los-sensores-para-drones/>.
- [4] DronProfesional. *¿Cuáles son las partes de un dron?* 2018. URL: <https://dronprofesional.com/blog/cuales-son-las-partes-de-un-dron/>.
- [5] Esenziale. *Todas las partes de los drones. Explicadas al detalle.* 2017. URL: <https://esenziale.com/tecnologia/partes-drone/>.
- [6] Umiles Group. *Tipos de Drones. Clasificación por uso y características.* 2022. URL: <https://umilesgroup.com/tipos-de-drones/>.
- [7] Fernando Machuca. *Descubre quién inventó los drones, la mente maestra del vehículo aéreo no tripulado.* 2022. URL: <https://www.crehana.com/blog/estilo-vida/quien-invento-drones/>.
- [8] Nishanth Raol. *Github simulación en gazebo.* 2020. URL: <https://github.com/NishanthARao/ROS-Quadcopter-Simulation>.